

Matematisk beskrivelse af dielektrisk styrke

Dielektriske elastomerer (DE) er en relativ ny type materiale, som har stort potentiale blandt andet inden for medico- og energiteknologi.

Af Martin Pham, Frederik Riddersholm Petersen, Harald Silau, Nicolai Bogø Stabell og Anne Ladegaard Skov, Dansk Polymer Center, Institut for Kemiteknik, DTU

Dielektriske elastomerer (DE) består af en elektrisk isoleerende elastisk film med elektroder på dets filmoverflader. Når der sættes spænding over en DE's elektroder, vil der opstå en elektrostatiske tiltrækning mellem elektroderne. Da materialet er elastisk og inkompressibelt, vil tiltrækningen føre til en formindskelse af tykkelse og en udvidelse af arealet. Hermed bliver elektrisk arbejde omdannet til mekanisk arbejde. DE's evner til at omsætte energi afhænger blandt andet af materialets dielektriske brudstyrke (DBS), hvilket er det maksimale felt, materialet kan modstå.

DE er polariserbare, hvorved en spændingsforskel kan opbygges over materialet. Når spændingsforskellen bliver tilstrækkelig stor, vil man nå DBS for materialet, og en elektronisk nedbrydningsproces vil initieres. Materialet bliver gradvist mere ledende, og ladningsforskellen over materialet udlignes ved, at elektroner passerer gennem materialet. Dette kræver en høj densitet af ledende elektroner i materialet. Nedbrudsmekanismen, hvorved de ledende elektroner frigives, kan beskrives

som en elektronlavine [1, 2]. De ledende elektroner accelereres af spændingsforskellen over materialet og opnår energi til at kunne ionisere andre molekyler ved kollision. Når ledende elektroner kolliderer med andre molekyler, udsendes der flere ledende elektroner, hvorved processen fortsættes. Dette fører til permanent skade på DE pga. destruktion af kovalente bindinger. Det er derfor vigtigt at kunne bestemme DBS for DE-materialer præcist, så nedbrud kan undgås i brugssituationer.

Bestemmelse af DBS er tidligere udført ved at antage, at DBS fulgte en normalfordeling, hvor DBS så angives som midelværdi med standardafvigelse. I denne artikel undersøges det, om en Weibull-fordeling kan bruges til at bestemme DE's DBS og de opnåede resultater sammenlignes med den tidligere anvendte metode og resultaterne diskuteres.

■ Båndstruktur og nedbrudsbillede

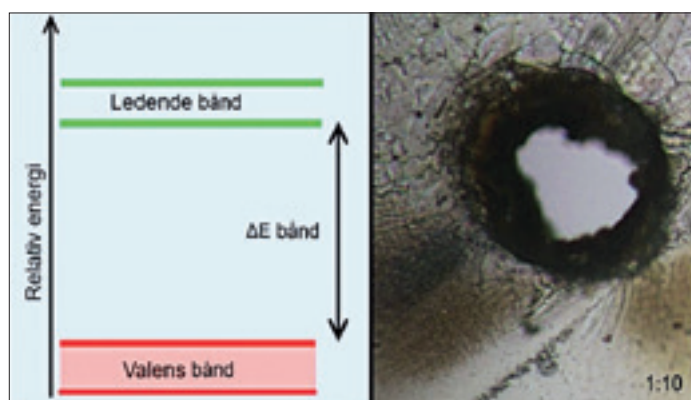
Elektronstrukturen af faste stoffer er ikke orbitaler med faste energiniveauer, men nærmere energiintervaller, kaldet bånd, som beskriver de tilladte energiniveauer for elektronerne i stoffet. Båndene er adskilt af båndafstande, hvori der ikke findes tilladte energiniveauer for elektroner. Båndene stammer fra orbitaloverlap mellem atomorbitaler med næsten samme energiniveau, der fører til, at der dannes molekylorbitaler med nærliggende energiniveauer. Ved højt antal atomer vil de mange energiniveauer af molekylorbitalerne danne et bånd. Ledende elektroner i materialet dannes ved, at spændingen over materialet supplies nok potentiel energi til, at elektroner i urenheder, som har energiniveauer i båndafstanden, accelereres op i det ledende bånd. Disse elektroner kan herefter initiere en elektronlavine [1, 2].

Weibull

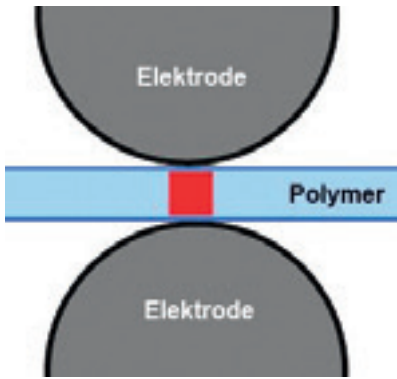
Det generelle udtryk for en Weibull-fordeling er givet ud fra tre parametre og opstilles således:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (1)$$

De tre parametre er henholdsvis; karakteristisk livstid, η , formparameter, β , og lokationsparameter, γ . De tre værdier har hver



Figur 1. I isolerende materialer (som silikone) vil alle valenselektronerne fylde et bånd ud, kaldet valensbåndet, hvor elektroner, som bidrager til bindingerne ligger. Separeret af en båndafstand vil der ligge et tomt bånd kaldet det ledende bånd. Billedet til venstre afbilder dette. Til højre ses et nedbrudsområde, hvor der kan ses lichtenberg strukturer, hvilket er kanaler, de ledende elektroner har passeret igennem, samt afsvedt kulstof skabt ved dekomponering af polymermaterialet.



Figur 2. Opsætning af halvkugleelektroder med testvolumenet vist i rødt.

især deres indflydelse på udseendet af den endelige Weibull-fordeling. Den variable parameter, t , har samme enhed som η . Den karakteristiske livstid vil være, hvor risikoen for nedbrud er størst. Dette vil forekomme, hvor 63,2% af alle enheder fejler. En høj formparameter vil begrænse spredningen af data og dermed vil sandsynlighedsdensiteten stige omkring η -parameteren. γ -parameteren anvendes, hvis det er kendt, at nedbrud af materialet ikke forekommer før en vis værdi. Ofte sættes γ til 0, hvilket beskriver en 2-parameter Weibull-fordeling, hvorved funktionen tvinges gennem (0,0) [3]:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2)$$

Udtrykket i (2) beskriver den generelle "Probability Density Function" (PDF) for en Weibull-fordeling. Den kumulative densitetsfunktion (CDF), $F(t)$, og pålidelighedsfunktionen, $R(t)$, vil være beskrevet ved:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

Til bestemmelse af Weibull-parametrene, η og β , for eksperimentelt bestemte sæt af DBS-værdier rangeres værdierne ved hjælp af "Median Rank" (MR). Median Rank er et estimat af sandsynlighed for nedbrud ved en given DBS-værdi. Dette gøres ved at rangere DBS-værdierne fra 1 til N , hvor N er det samlede antal af prøver. Herefter kan Bernard's approksimation på et binomialt udtryk benyttes til at udregne Median Rank

$$MR \approx \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \cdot 100 \quad (5)$$

hvor i er prøvenummeret for det specifikke nedbrud.

For bestemmelse af β og η lineariseres ligning 2 og punkterne ($\ln(\ln(1/(1-MR)))$, $\ln(DBS)$) plottes. Dernæst benyttes lineær regression til at bestemme hældning, a , og skæring, b , hvorudfra β og η så vil være givet ved [4]:

$$\beta = \frac{1}{a} \quad (6)$$

$$\eta = e^{\frac{b}{\beta}} \quad (7)$$

Metode

Til test af DBS-værdien for nedbrud af silikoneelastomeren blev en film med tykkelse på 52,7 μm anvendt. Silikonefilmen blev lagt ind mellem to halvkugle-elektroder, således at elektroderne berører elastomerens overflade på begge sider.

Afstanden mellem halvkugle-elektroderne blev noteret ved hver måling. Spændingen blev derefter forøget med 0,1 kV/s, indtil en kortslutning forekom. Der blev testet 12 gange på den samme elastomer for større nøjagtighed af polymerens sande brudstyrke, da der kan forekomme defekter i enkelte udsnit af elastomeren.

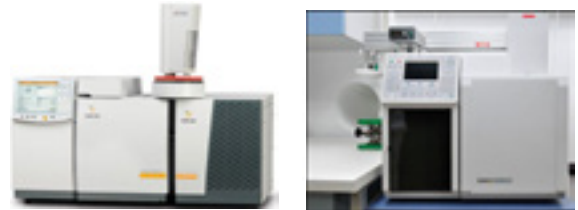
Sammenligning af normalfordelt og Weibull-fordelt data

Ud fra forsøgsdata blev Weibull-funktionens parametre bestemt til: $\eta = 155 \text{ kV/mm}$ og $\beta = 26$. Ud fra en Weibull-fordeling fås middelværdien til $151,8 \pm 7,3 \text{ kV/mm}$ og ved brug af en normalfordeling fås $152,0 \pm 6,8$. De resulterende plot af PDF er vist i figur 3. Det ses, at middelværdien for Weibull-fordelingen er en smule lavere end for normalfordelingen, og dette skyldes fordelingernes forskellige udseende, hvoraf normalfordelingen er homogen omkring middelværdien, mens Weibull-fordelingen ikke er. Weibull-fordelingen vil være forskudt enten mod højre eller venstre af middelværdien, afhængig af β .

Nedbrud i DE-materialer kan ses som en kæde af brud [3]. Et nedbrud kræver blot, at én fri elektron dannes, som dermed kan initiere en elektronlavine. Urenheder, som har energiniveauer i båndafstanden, kræver forskellige feltstyrker for at frigive elektroner. Der vil derfor ved lave feltstyrker være få urenheder, ►

WANTED

For service



Varian GC's were last seen on laboratories in Denmark

If you have seen this instrument, please contact

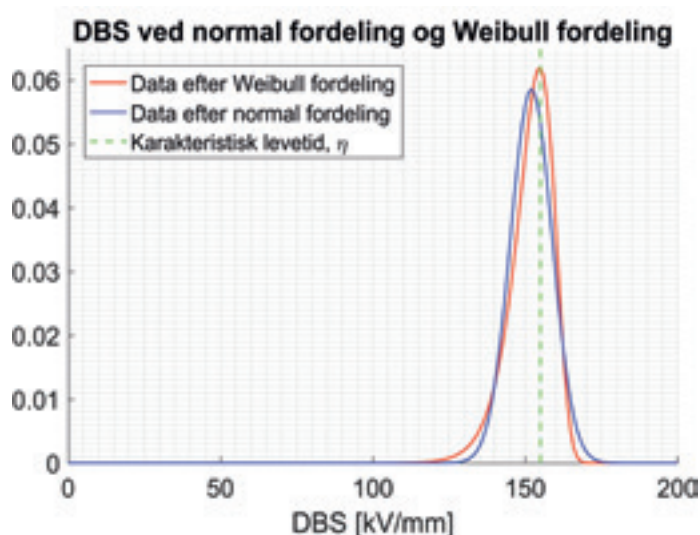
E-mail: serviceyourvariangc@samsi.no

Call: +47 35975600

REWARD

A great service deal, application support, parts and more





Figur 3. PDF for normalfordelt og Weibull-fordelt DBS.

som har en chance for at afgive elektroner, ved stigende feltstyrke vil risikoen for dannelse af fri elektroner fra urenheder stige, indtil en vis værdi nås, hvor alle urenheder kan afgive elektroner. Efter denne værdi vil risikoen for nedbrud falde straks, da sandsynligheden for nedbrud har nået sit maksimum, når alle urenheder (eller bindinger) i materialet kan afgive elektroner,

og alle materialer i populationen vil fejle. Ud fra dette kan det siges, at nedbruddet vil følge en fordeling, som er positiv ikke-faldende, dvs. ved en vis værdi falder brat, hvilket er præcist, hvad Weibull forudsiger.

Fordel ved Weibull-analyse

Weibull kan med fordel anvendes på materialer, som følger det "svageste led" princip, hvorledes materialet bryder sammen, når et led i kæden bryder. Formparameteren i Weibull-fordelingen kan ligeledes fortælle, hvor homogent materialet er, da en høj formparameter kan sammenlignes med en sammenbrudskæde med færre led. Des færre led i sammenbrudskæden, des mindre risiko for nedbrud, fordi der er færre led, som skal holde.

Weibull vil derfor kunne anvendes til at beskrive styrker af mange forskellige materialer.

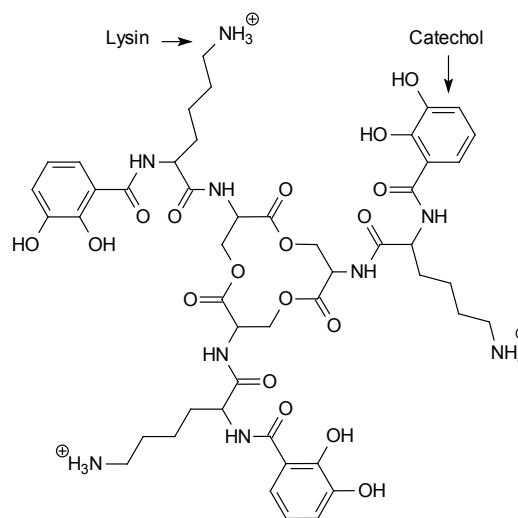
E-mail:

Anne Ladegaard Skov: al@kt.dtu.dk

1. F. Seitz, (1949), On the Theory of Electron Multiplication in Crystals. *Physical Review*, 76(9), pp. 1376-1393.
2. Y. Sun, C. Bealing, S. Boggs & R. Ramprasad (2013), 50+ Years of Intrinsic Breakdown. *Ieee Electrical Insulation Magazine*, 29(2), pp. 8-15.
3. Weibull, W. (1951). A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. *Journal of Applied Mechanics-Transactions of the Asme*, 18(3), 293-297.
4. Reliasoft, The Weibull Distribution. Hentet fra: http://reliawiki.org/index.php/The_Weibull_Distribution. Hentet den 18/6 - 2016.

Nyt om ...

... Lim til brug i vand



Når man skal lime noget, renses man jo fladerne omhyggeligt og sørger for, at de er tørre. Man er imidlertid ofte interesseret i at lime under vand, f.eks. samling af elementer i en undervandstunnel. Her dur de traditionelle lime ikke. Muslinger har imidlertid fundet ud af at løse problemet; de kan sætte sig fast på sten, så de bliver siddende, selv i strømmen fra den stærkeste orkan.

Man har, ved at studere den lim, muslingerne anvender, syntetiseret den lim, der er vist nedenfor, der er baseret på catechol (benzen-1,2-diol) og lysin (2,6-diaminohexansyre). Man har limet glimmerplader sammen med betydelig styrke i saltvand med denne lim.

Carl Th.

Der Unterwasser-Klebstoff der Muscheln, *Chemie in unserer Zeit* 2016, 50 (1) side 14 .Adaptive synergy between catechol and lysine promotes wet adhesion by surface salt displacement *Science* 2015, Vol. 349 issue 6248, side 628.